

УДК 628.33

А.М.ПРОЛЬ

*Український державний університет водного господарства і природокористування,  
м.Рівне*

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ КОЕФІЦІЄНТІВ  
НЕОДНОРІДНОСТІ ФРАКЦІЙНОГО СКЛАДУ ПЛАВАЮЧОГО  
ФІЛЬТРУЮЧОГО ШАРУ ВОДООЧИСНИХ ФІЛЬТРІВ, ВИЗНАЧЕНИХ  
ЗА МАСОЮ ТА ОБ'ЄМОМ**

Наводяться результати аналізу визначення коефіцієнта  $k$  неоднорідності фільтруючого шару із спінених гранул полістиролу, визначеного за масою  $k_p$  та об'ємом  $k_v$ , доведена доцільність оцінки фракційного складу фільтруючого шару із спінених гранул полістиролу за параметром  $k_v$ .

Основним робочим елементом зернистих водоочисних фільтрів є його фільтруючий шар, від правильного добору фракційного складу якого залежить якість очищеної води. Одним з критеріїв оцінки фракційного складу зернистого шару є коефіцієнт його неоднорідності  $k$ . Цей параметр має суттєвий вплив на технологічні показники роботи зернистих фільтрів. Адже зі зміною його величини змінюються закономірності кривих затримки забруднень за висотою фільтруючого шару, втрати напору в зернистому шарі, ефективність роботи споруди в цілому. Невідповідність фракційного складу технологічним вимогам призводить до різкого скорочення тривалості фільтраційного циклу, значних витрат води на власні потреби споруд, до невідповідності якості води нормативним вимогам.

Існуюча методика визначення параметрів фракційного складу зернистого матеріалу передбачає: відбір проби зернистого матеріалу масою 200 г; просушування відібраної проби при температурі 105 °С; просіювання підготовленої проби через набір каліброваних сит; зважування затриманого на кожному ситі залишку проби зернистого матеріалу; визначення відносної масової кількості залишку проби на кожному ситі. За одержаними даними будують інтегральну криву ситового аналізу. Остання дозволяє визначити основні показники фракційного складу зернистого матеріалу: еквівалентний діаметр зерен  $d_{ek}$  і коефіцієнт неоднорідності  $K_n$  гранулометричного складу фільтруючого завантаження [1].

Коефіцієнт неоднорідності визначають як відношення 80%-ного калібру зернистого матеріалу до його 10%-ного калібру. Еквівалентний діаметр гранул встановлюють як [1]

$$d_{екв} = 100 \cdot \sum \frac{d_n}{p_i}, \quad (1)$$

де  $p_i$  – процентний вміст (за масою) фракцій із середнім діаметром;  $d_n$  – середній діаметр калібрів суміжних сит  $d_n = (d_1 + d_2)/2$ .

Зазначену методику визначення фракційного складу зернистого матеріалу успішно застосовують для характеристики фільтруючого шару, виконаного з кварцового піску, антрациту тощо, тобто для тих матеріалів, питома маса зерен яких є постійною і не залежить від їхнього діаметра. Питома маса гранул фільтруючого шару фільтрів з плаваючим завантаженням є непостійною. Із зростанням діаметра гранул величина цього параметра зменшується. Окрім того при підготовці проби фільтруючого матеріалу до проведення ситового аналізу з описаної методики треба вилучити просушування матеріалу при температурі 105 °С, оскільки за такої температури спостерігається не тільки спінювання гранул, але і їх плавлення [2]. Тому для визначення фракційного складу гранульованого шару фільтрів з плаваючим завантаженням описана методика потребує відповідного коригування [3].

З метою обґрунтування методики визначення фракційного складу фільтруючого шару фільтрів з плаваючим завантаженням нами було підготовлено 10 різних проб гранульованого фільтруючого матеріалу з розмірами гранул 0,25-2 мм. Гранули усіх проб були спінені при температурі 100°С і тривалості спінювання 200 с. Проби матеріалу просушували при температурі 50 °С до відносно сталої ваги. Маса кожної проби складала 300 г. Підготовлені таким чином проби просіювали через набір каліброваних сит. Залишки проб матеріалу, затримані на кожному ситі, зважували і одночасно визначали їх об'єм. За отриманими даними встановлювали відносну масову і об'ємну кількість залишку проби на кожному ситі, що дозволило визначити еквівалентні діаметри гранул  $d_{екw}$ ,  $d_{екp}$  та побудувати інтегральні криві ситового аналізу фільтруючого шару. З графіків інтегральних кривих знімали значення показників  $d_{10p}$ ,  $d_{80p}$ ,  $d_{10w}$ ,  $d_{80w}$  (рис.1). Коефіцієнт неоднорідності  $k_p$ ,  $k_w$  зернистого шару для інтегральної кривої, побудованої за масою, визначали як  $k_p = d_{80p}/d_{10p}$ , а для інтегральної кривої, побудованої за об'ємом, –  $k_w = d_{80w}/d_{10w}$ . Результати проведених досліджень і значення коефіцієнтів неоднорідності гранульованого шару зведені в таблицю.

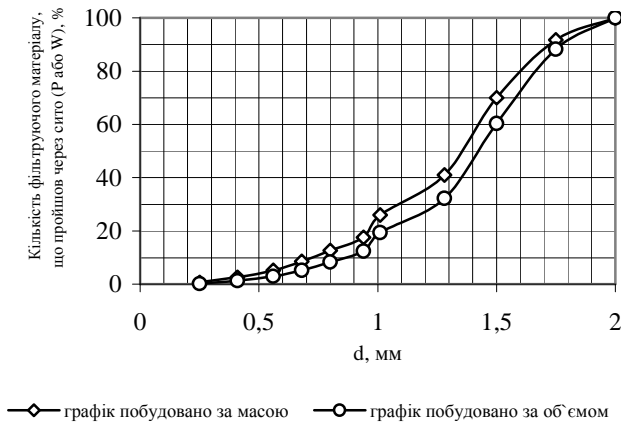


Рис.1 – Графіки ситового аналізу фільтруючого матеріалу

$d_{ekP}$	1,20
$d_{10P}$	0,72
$d_{80P}$	1,6
$k_p$	2,22
$d_{ekW}$	1,32
$d_{10W}$	0,86
$d_{80W}$	1,67
$k_w$	1,94
$W, \text{см}^3$	3402
$P, \text{г}$	300

Тут  $d_{ekP}$ ,  $d_{ekW}$  – еквівалентні діаметри гранул, визначені відповідно за масою і об'ємом;  $d_{10P}$ ,  $d_{80P}$ ,  $d_{10W}$ ,  $d_{80W}$  – калібри сит, через які пройшло відповідно 10 і 80% маси або об'єму досліджуваного зернистого матеріалу;  $k_p$ ,  $k_w$  – коефіцієнти неоднорідності зернистого матеріалу, визначені відповідно за масою і об'ємом;  $W$ ,  $P$  – сумарний об'єм окремих фракцій і маса досліджуваного зернистого матеріалу.

Графіки інтегральних кривих, визначених за масою проб і їх об'ємом, відрізняються один від одного. Інтегральний графік, побудований за масою проб для всіх серій дослідів, знаходиться вище інтегрального графіка, побудованого за об'ємом. Найбільша розбіжність між значеннями цих графіків спостерігається в середній зоні інтервалу зміни калібрів сит. Відмінність графіків інтегральних кривих, визначе-

них за масою і об'ємом, зумовила відмінність коефіцієнтів неоднорідності та еквівалентних діаметрів гранул, визначених відповідно за масою та об'ємом. У всіх серіях дослідів еквівалентний діаметр гранул фільтруючого шару, визначений за масою, був менший від еквівалентного діаметра гранул, визначеного за об'ємом. Співвідношення між коефіцієнтами неоднорідності гранульованого шару має зворотну закономірність.

Результати гранулометричного аналізу фільтруючого шару водоочисних фільтрів, виконаного із спінених гранул полістиролу

№ з/п	Параметри, визначені за масою				Параметри, визначені за об'ємом				W, см <sup>3</sup>
	$d_{ekp}$ , мм	$d_{10p}$ , мм	$d_{80p}$ , мм	$k_p$	$d_{ekw}$ , мм	$d_{10w}$ , мм	$d_{80w}$ , мм	$k_w$	
1	1,20	0,72	1,60	2,22	1,32	0,86	1,67	1,94	3402
2	1,32	0,72	1,91	2,65	1,52	0,92	1,93	2,10	3960
3	1,50	0,95	1,90	2,00	1,63	1,08	1,92	1,78	4076
4	1,03	0,72	1,60	2,22	1,13	0,90	1,67	1,86	3108
5	0,97	0,63	1,32	2,10	1,04	0,69	1,45	2,10	2965
6	0,87	0,57	1,10	1,93	0,94	0,61	1,27	2,08	2806
7	0,74	0,43	0,97	2,26	0,80	0,50	1,00	2,00	2601
8	0,63	0,30	0,94	3,13	0,70	0,38	0,97	2,55	2424
9	0,58	0,27	0,85	3,15	0,64	0,34	0,95	2,79	2319
10	0,64	0,30	1,00	3,33	0,74	0,34	1,28	3,76	2510

Слід звернути особливу увагу на те, що зі зміною фракційного складу досліджуваних проб майже на 48% змінюється їх сумарний об'єм. Адже із зменшенням  $d_{ekp}$  зростає питома маса гранули при зменшенні її об'єму. Проте при змішуванні усіх гранул різних розмірів однієї проби відмінність між об'ємами дещо зменшується. Причому така закономірність зростає із зростанням параметра  $k_w$ , оскільки для проб з більшим значенням  $k_w$  значна частина дрібних гранул розташовується в порах гранул великих розмірів. Тобто відмінність W проб різного фракційного складу гранульованого матеріалу до їх розсіювання може мати дещо менше значення. Таку особливість фільтруючого шару із спінених гранул полістиролу слід мати на увазі при визначенні економічних показників технології очистки води.

Шляхом аналізу даних таблиці вдалося виявити взаємозв'язок між основними показниками, що характеризують фракційний склад гранульованого матеріалу. Так, взаємозв'язок між еквівалентним діаметром гранул визначеним за масою, чітко описується рівнянням прямої лінії (рис.2). Величина квадратичної похибки в такому взаємозв'язку наближується до одиниці. Співвідношення між величинами згаданих параметрів у всьому діапазоні їх зміни є величиною сталою,

близькою до 0,91. Еквівалентний діаметр гранул фільтруючого шару, визначений за масою, завжди є меншим від еквівалентного діаметра гранул, визначеного за об'ємом. Таким чином визначення еквівалентного діаметра за відомою методикою зумовлює використання в технологічних розрахунках параметра, величина якого на 10% відрізняється від фактичного, що має особливе значення у процесах, де цей параметр підноситься до другого або третього ступеня.

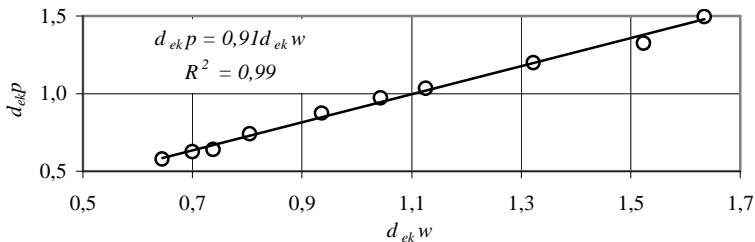


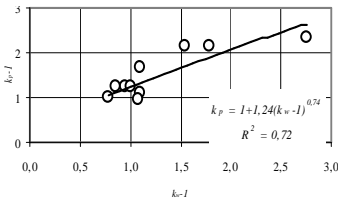
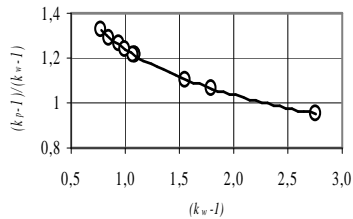
Рис.2 – Графік взаємозв'язку між  $d_{ekP}$  і  $d_{ekW}$

Рівняння прямої, що проходить через початок координат, відповідає суті досліджуваного явища. Адже при  $d_{ekW} \rightarrow 0$  величина параметра  $d_{ekP}$  також наближується до нуля.

Розмір гранул для фільтрів з плаваючим завантаженням залежить від конструкції фільтра та умов його застосування. Так, для фільтрів, що працюють з висхідним фільтраційним потоком, застосовують гранули з розміром 0,8-1,5, 0,5-2,0 мм. Для фільтрів, що працюють з низхідним напрямком руху фільтраційного потоку, розмір гранул фільтруючого шару складає 0,5-2,0, 0,8-4,0, 0,7-8,0, 1-10 мм [2]. За такого діапазону зміни розмірів гранул фільтруючого шару очевидно, що коефіцієнт його неоднорідності може змінюватися також в широкому діапазоні.

При аналізі результатів таблиці було встановлено закономірність взаємозв'язку між  $k_p$  і  $k_w$ , що чітко спостерігається у всьому діапазоні досліджень (рис.3). Такий взаємозв'язок описується рівнянням параболі, що проходить через початок координат  $k_p-1$  і  $k_w-1$ , а величина середньоквадратичної похибки сягає 0,74. Враховуючи, що коефіцієнти неоднорідності зернистого шару  $k_p \geq 1$ ,  $k_w \geq 1$ , отримана залежність взаємозв'язку відповідає суті досліджуваного явища. При  $k_w \rightarrow 1$  або  $k_p-1 \rightarrow 0$  інтенсивність зміни співвідношення між коефіцієнтами неоднорідності зернистого шару визначеними за масою і об'ємом

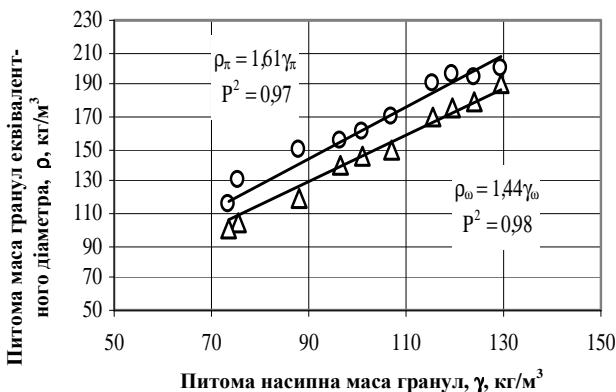
$(k_p-1)/(k_w-1)$ , зростає і при  $(k_w-1) \approx 0,6$  складає 1,35 (рис.4). Тобто при  $k_w=1,6$  величина  $k_p=1,8$ . Таке співвідношення свідчить про перевищення величини  $k_p$  над  $k_w$ . Проте при  $k_w \geq 3,3$  із зростанням параметра  $k_w-1$  інтенсивність зміни параметра  $k_p-1$  менша від одиниці. Так, при  $k_w=3,6$  величина  $k_p=3,47$ . Таким чином, коли йдеться про коефіцієнт неоднорідності гранульованого завантаження, рівний 3,3, різниці між значеннями коефіцієнтів неоднорідності, визначеними за масою чи об'ємом, немає. Але враховуючи, що для фільтрів з плаваючим завантаженням коефіцієнт неоднорідності гранульованого фільтруючого шару переважно більший від 3,5, то в розрахунках фільтрів використовується величина цього параметра дещо занижена, а при коефіцієнтах, менших від 3,5, – завищена.


Рис.3 – Графік взаємозв'язку між  $k_p$  і  $k_w$ 

Рис.4 – Зміна інтенсивності зростання  $(k_p-1)/(k_w-1)$  від  $k_w-1$ 

Зі зміною еквівалентного діаметра та коефіцієнта неоднорідності гранульованого матеріалу, визначених за масою і об'ємом, при сталій масі досліджуваних проб змінюється питома величина їх насипної маси. Величину цього показника знаходять шляхом ділення маси досліджуваної проби полістиролу на її об'єм. Питома величину маси гранули еквівалентного діаметра полістиролу визначають шляхом ділення маси окремої гранули на її об'єм. Оскільки для однієї і тієї ж проби гранульованого матеріалу значення еквівалентного діаметра, визначеного за масою і за об'ємом, відрізняються між собою, то, очевидно, повинні відрізнятися і величини питомої маси окремої гранули. Аналіз результатів таблиці дозволив встановити взаємозв'язок між згаданими параметрами (рис.5).

Взаємозв'язок питомої маси гранул зі спіненого полістиролу еквівалентного діаметра, визначених за масою та об'ємом, з насипною масою фільтруючого шару описується рівняннями прямої лінії, що проходить через початок координат. Відмінність між згаданими математичними залежностями полягає в куті нахилу прямої до осі абсцис.

Дещо з більшою інтенсивністю змінюється значення параметра  $\rho$  для  $d_{екв}p$ .



- $\Delta$  - для еквівалентних діаметрів гранул, визначених за об'ємом;  
 $\circ$  - для еквівалентних діаметрів гранул, визначених за масою

Рис. 5 — Взаємозв'язок питомої маси гранул еквівалентного діаметра ( $d_{екв}w$ ,  $d_{екв}p$ ) і напівної маси зернистого шару

Перевищення інтенсивності зміни параметра  $\rho$  для  $d_{екв}p$  в порівнянні з аналогічним показником для  $d_{екв}w$  складає  $1,61/1,44=1,12$ . Таким чином, встановлення за відомою методикою значення параметра  $d_{екв}$  зумовлює використання в технологічних розрахунках фільтрів з плаваючим фільтруючим шаром дещо завищених значень питомої напівної маси гранул, що позначається на розрахунках процесу промивки фільтруючого шару.

### Висновки

1. Визначення еквівалентного діаметра гранул за відомою методикою зумовлює використання в технологічних розрахунках цього параметра, на 10% меншого від величини, визначеної за об'ємом, що має особливе значення в тих процесах, де цей параметр входить в розрахункові залежності з показником ступеня 2 або 3.

2. Оскільки для фільтрів з плаваючим завантаженням коефіцієнт неоднорідності гранульованого фільтруючого шару переважно більший від 3,5, то в розрахунках фільтрів використовується дещо занижена величина цього параметра, а при коефіцієнтах менших від 3,5 — завищена.

3. Встановлення за відомою методикою значення параметра  $d_{екв}$

зумовлює використання в технологічних розрахунках фільтрів з плаваючим фільтруючим шаром дещо завищених ( $\approx 12\%$ ) значень питомої насипної маси гранул, що позначається на розрахунках процесу промивки фільтруючого шару.

4. Значення параметрів фракційного складу завантаження фільтрів з плаваючим фільтруючим шаром, встановлене за відомою методикою, не враховує особливості плаваючого завантаження і призводить до похибок у визначенні еквівалентного діаметра гранул фільтруючого шару, коефіцієнта неоднорідності його гранул та питомого значення їх насипної маси.

1. Орлов В.О. Интенсификация работы водоочистных сооружений. – К.: Будівельник, 1999. – 128 с.

2. СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1984. – 128 с.

3. Журба М.Г. Пенополистирольные фильтры. – М.: Стройиздат, 1992. – 176 с.

*Отримано 30.09.2003*

УДК 628.1 : 628.16.067.1

Ю.І.ГОРДІЄНКО

*Український державний університет водного господарства і природокористування,  
м.Рівне*

## **АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ СИСТЕМИ ГІДРОАВТОМАТИКИ ВОДООЧИСНОЇ УСТАНОВКИ**

Досліджується вплив швидкості фільтрування та приросту втрат напору у фільтраційному завантаженні водоочисної установки та інших факторів на ефективність зарядки промивного сифона при включенні установки в режим промивки.

Одним із шляхів вирішення питання спрощення експлуатації і, водночас, підвищення надійності роботи фільтрувальних водоочисних споруд є автоматизація процесів їх роботи. Практикою застосування гідроавтоматичних фільтрувальних водоочисних споруд в останні роки виявлено значний техніко-економічний ефект, що досягається за рахунок зниження експлуатаційних затрат і підвищення надійності їх роботи.

Дослідження виконане в рамках державної програми охорони навколишнього середовища Міністерства освіти і науки України. На кафедрі водопостачання та бурової справи УДУВГП проводились експериментальні пошукові роботи на гідроавтоматичній фільтрувальній установці, призначеній для очищення води від заліза із загальною концентрацією до 5 мг/л. Метою досліджень було виявлення і усунення недоліків у роботі системи гідроавтоматики установки – для скорочен-